

广西银滩南部海域海洋牧场渔业资源评估

牛麓连^{1,2}, 陈国宝¹, 邹建伟³, 佟飞¹, 于杰¹

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部海洋牧场重点实验室/国家数字渔业(海洋牧场)创新分中心/中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室/农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站/广东省渔业生态环境重点实验室/广东省海洋休闲渔业工程技术研究中心, 广东广州 510300
2. 上海海洋大学海洋生物资源与管理学院, 上海 201306
3. 北海市水产技术推广站, 广西北海 536000

摘要: 为掌握广西北海银滩海洋牧场海域的鱼类资源状况, 分别于 2022 年 3 月、2023 年 1 月采用分裂波束式科学探鱼仪 (Simrad EK80) 对该海域进行了 2 次声学调查。利用回波积分法并结合拖网采样 (网目尺寸: 4.0 cm×2.5 cm) 对调查海域内生物的尾数密度、生物量密度及空间分布进行了评估分析。结果表明, 无论是在人工鱼礁区还是对照区, 渔获组成均主要以小型个体为主 (2022 和 2023 年的个体平均体质量分别为 8.64 和 29.8 g)。2022 年 3 月人工鱼礁区和对照区声学评估种类平均尾数密度分别为 66 003 和 41 903 尾·km⁻², 平均生物量密度分别为 726.66 和 469.90 kg·km⁻²; 2023 年 1 月人工鱼礁区和对照区声学评估种类平均尾数密度分别为 17 194 和 11 110 尾·km⁻², 平均生物量密度分别为 665.94 和 406.85 kg·km⁻²。人工鱼礁区表现出明显的集鱼效果。调查海域渔业资源主要分布于 5.0 m 以深水层, 且礁区渔业资源较对照区垂直分布范围更广。2 次调查的人工鱼礁区平均单体目标强度 (Target strength, TS) 均大于对照区, 且人工鱼礁区检测出的单体目标较对照区多, 分布比对照区更集中, 表明人工鱼礁影响了鱼类的资源分布。

关键词: 海洋牧场; 渔业资源声学调查; 回波积分法; 扫海面积法

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Assessment of fishery resources in southern sea area of Yintan Marine Ranching, Guangxi Province

NIU Lulian^{1,2}, CHEN Guobao¹, ZOU Jianwei³, TONG Fei¹, YU Jie¹

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Marine Ranching, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/National Digital Fisheries (Marine Ranching) Innovation Sub-Center/Key Laboratory of Marine Ranching Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environments, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment/Guangdong Engineering Technology Research Center of Marine Recreational Fishery, Guangzhou 510300, China
2. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China
3. Beihai Fishery Technology Extension Station, Beihai 536000, China

Abstract: In order to understand the status of fish resources in the Beihai Yintan Marine Ranching sea area of Guangxi Province, we conducted two acoustic surveys with a split-beam scientific echosounder (Simrad EK80) in March 2022 and January

收稿日期: 2023-12-11; 修回日期: 2024-02-05

基金项目: 北海市政府采购项目 (BHZC2022-C3-00009-XYZJ); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B1111030002); 农业农村部海洋牧场重点实验室开放课题资助 (KLMR-2022-05)

作者简介: 牛麓连 (1995—), 男, 硕士, 研究方向为渔业资源及渔业声学。E-mail: 943213617@qq.com

通信作者: 陈国宝 (1975—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为渔业资源及渔业声学。E-mail: chengb98@163.com

2023. We evaluated the fish density, fish biomass density and spatial distribution in the survey sea area by using echo integration method combined with trawl sampling (Mesh size: 4.0 cm×2.5 cm). The results show that both in the artificial reef area and control area, the catches were mainly composed of small individuals (Average masses of individuals in 2022 and 2023 were 8.64 and 29.8 g, respectively). In March 2022, the average fish densities of acoustic evaluation species in the artificial reef area and control area were 66 003 and 41 903 inds·km⁻², respectively. The average fish biomass densities in the artificial reef area and control area were 726.66 and 469.90 kg·km⁻², respectively. In January 2023, the average fish densities of acoustic evaluation species in the artificial reef area and control area were 17 194 and 11 110 inds·km⁻², respectively. The average fish biomass densities in the artificial reef area and control area were 665.94 and 406.85 kg·km⁻², respectively. The artificial reef area showed a significant fish catching effect. The fishery resources were distributed mainly in water layers below 5 m, and those in reef areas had a wider vertical distribution range than those of the control area. The average target strength (TS) of the two survey voyages in the artificial fish reef area were greater than that in the control area, and more single targets were detected in the artificial fish reef area with a more concentrated distribution than in the control area. The results reveal the impact of artificial reefs on the redistribution of fish resources.

Keywords: Marine ranching; Acoustic survey of fishery resources; Echo integration method; Swept-area method

传统的渔业资源调查方式是利用拖网等网具进行生物学采样,通过扫海面积法对调查海域进行资源评估,但这种采用网具的调查方式存在一定的局限性,如鱼类会对网具的网格产生逃逸行为及不同网具的选择性会影响渔获物的组成^[1-2]。渔业声学调查是一种新型的渔业资源调查方式,与传统调查方式相比,声学探测的范围更广,并且可以最大程度地降低鱼类对调查设备的逃逸反应^[3]。水声学早在1997年开始应用于中国南海海域的多种渔业资源声学评估中^[4-6],而后该方法在人工鱼礁海域进行了初步尝试^[7],并逐渐成为海洋牧场渔业资源调查评估的重要方法之一。

为了评估广西北海市银滩南部海域海洋牧场示范区的渔业资源,分别于2022年3月和2023年1月对该海域进行了渔业资源声学调查。调查以分裂式波束科学探鱼仪(Simrad EK80, 120 kHz)和拖网为主,同时进行水下摄影来辅助声学映像识别。了解调查区域的生物种类组成、尾数密度和生物量密度分布情况,进而对人工鱼礁区和对照区的生物资源状况进行对比分析,旨在为渔业声学对海洋牧场的建设效果评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域与站位设置

广西北海市银海区北海银滩旅游度假区海域是传统的重要渔业资源繁衍场所,其海水清澈、底质优良。位于该海域南部的北海银滩海洋牧场示范区面积315.3 hm²,一期2010—2016年共计投放人工鱼礁1 276座,投放总空方数75 614 m³,人工鱼礁

面积119.6 hm²;二期2021—2022年共计投放人工鱼礁1 500座,投放总空方数48 000 m³,人工鱼礁面积44.013 hm²。

调查海域位于109°7.730 9'E—109°10.773 2'E、21°16.063 1'N—21°18.606 7'N,面积为10.74 km²,分别于2022年3月和2023年1月进行了2次调查,调查区域的平均水深分别为11.73和12.39 m。声学调查航线设置成平行断面形式,详细航线和站位如图1所示。2022年3月,人工鱼礁区设置4个调查断面L1、L2、L3、L5,11个站位,对照区设置1个断面L4,3个站位;2023年1月调查中,人工鱼礁区内的断面L5和L1、L2的长度保持一致,对照区断面无变化。

1.2 扫海面积法

根据扫海面积法^[8]计算尾数密度(尾·km⁻²)和生物量密度(kg·km⁻²),公式为:

$$\rho = C / [a \times (1 - E)] \quad (1)$$

式中: ρ 为尾数密度(Fish density, 尾·km⁻²)或生物量密度(Fish biomass density, kg·km⁻²); C 为拖网渔获率(kg·h⁻¹或尾·h⁻¹); a 为每小时扫海面积(km²·h⁻¹); E 为逃逸率(取0.5)。

1.3 声学评估法

1.3.1 声学数据采集

研究采用分裂式波束科学探鱼仪(Simrad EK80)进行渔业声学探测,调查参数设置见表1。动态经纬度信息通过美国天宝公司(Trimble)差分GPS与声学数据同步采集并存储。调查前,为了提高声学评估的准确性,对科学探鱼仪的收发增益系数按照国际通用的标准球法进行了现场校正^[9-10]。

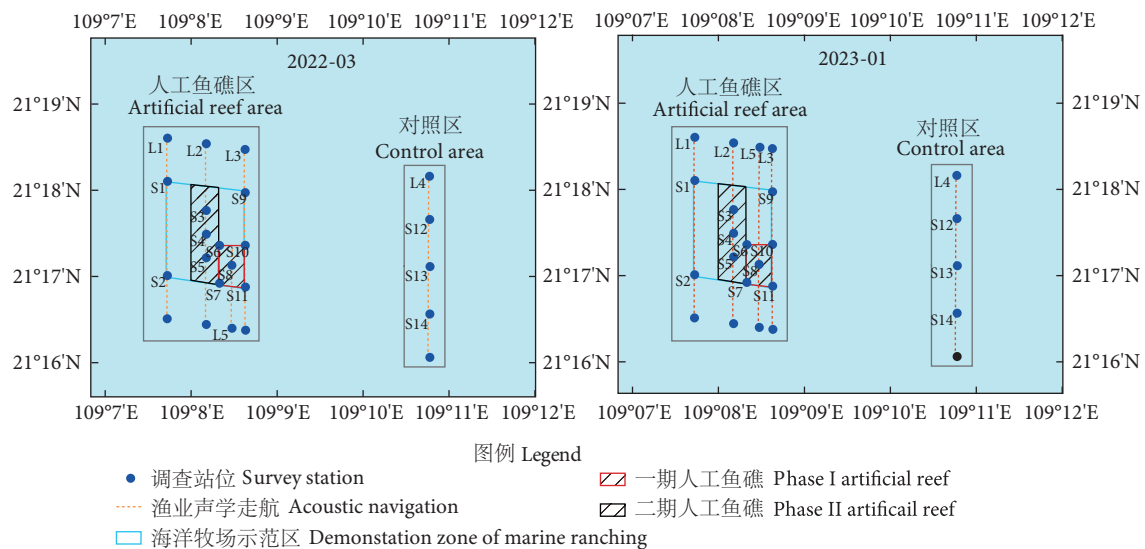


图1 北海银滩海洋牧场海域调查断面图

Fig. 1 Cross section map of Beihai Yintan Marine Ranching surveyed sea area

表1 科学探鱼仪 (Simrad EK80) 的主要技术参数设置
Table 1 Main technical parameters setting of scientific echosounder (Simrad EK80)

技术参数 Technical parameter	参数设置 Parameter setting
工作频率范围 Operating frequency range/kHz	85~170
换能器频率 Transducer frequency/kHz	120
功率 Transmitting power/W	150
脉冲宽度 Pulse length/ms	0.256
脉冲间隔 Ping interval/s.ping	0.2
探测深度量程 Investigation depth range/m	30

调查船只 (船长 24.5 m, 宽 5.58 m, 型深 2.95 m, 主机功率 135 kW, 总吨位 114 t) 出发前, 通过导流罩将探鱼仪的换能器固定在船舷的中部, 换能器放入海中的深度约为 0.7 m, 调查船的走航速度约为 5~7 kn, 以减小船舶发动机噪声及海表风浪的影响。根据声学走航的覆盖率公式^[11]:

$$D=L/\sqrt{A}$$
 (2)

式中: L 为实际声学走航距离; A 为探测范围面积; 声学走航的覆盖率 D 为 6.14, 该结果满足声学调查规范的要求 $D>6$ 。

渔业资源声学评估, 除了进行走航调查外, 还需要进行拖网采样以进行积分值分配来辅助声学映像分析。2 次调查均设置 14 个底拖网调查站位, 底拖网参数信息见表 2。在每个站点捕获的所有种类均进行了分类和取样, 并通过渔捞卡片现场记录, 体长和体质量分别精确至 mm 和 g。

表2 调查船只及网具采样设置
Table 2 Investigate vessel and net sampling settings

参数 Parameter	2022 年 3 月 March 2022	2023 年 1 月 January 2023
采样类型 Sample type	拖网	拖网
船只功率 Vessel power/kW	135	135
拖网速度 Speed of trawling/(km·h ⁻¹)	3	3
拖网时间 Trawl time/min	30	30
网具上纲长 Headline/m	9	6
网目 Mesh size	4.0 cm×2.5 cm	4.0 cm×2.5 cm

1.3.2 声学映像解析

渔业声学映像利用国际上领先的澳大利亚 Echoview Software Pty Ltd 软件公司开发的 Echoview 软件进行解析。首先设置声学映像的水深表层线为 1.5 m, 水深海底线为 0.5 m, 以尽量避免海表杂波和海底回波信号的干扰, 故底栖种类 (如鲆鲽类等) 不在声学评估范围之内^[9]。将 S_v 映像的最大积分阈值设置为 -70 dB, 通过设置积分阈能消除部分背景噪声, 还可利用虚拟变量数据生成器模块对大部分的背景噪声进行降噪, 其他非目标信号 (如气泡、浮游生物、人工鱼礁等) 通过映像分析后手动去除, 以提高声学映像识别结果的准确性 (图 2)^[12-13]。此外, 将单体目标强度 (Target strength, TS) 的最大积分阈值设置为 -60 dB, 再利用现场目标强度测量 (Single target detection-split beam) 和鱼类轨迹追踪模块 (Detect fish tracks)^[14], 对声学数据进行目标单体检测与追踪后获得单体鱼类的 TS 和水深, 从

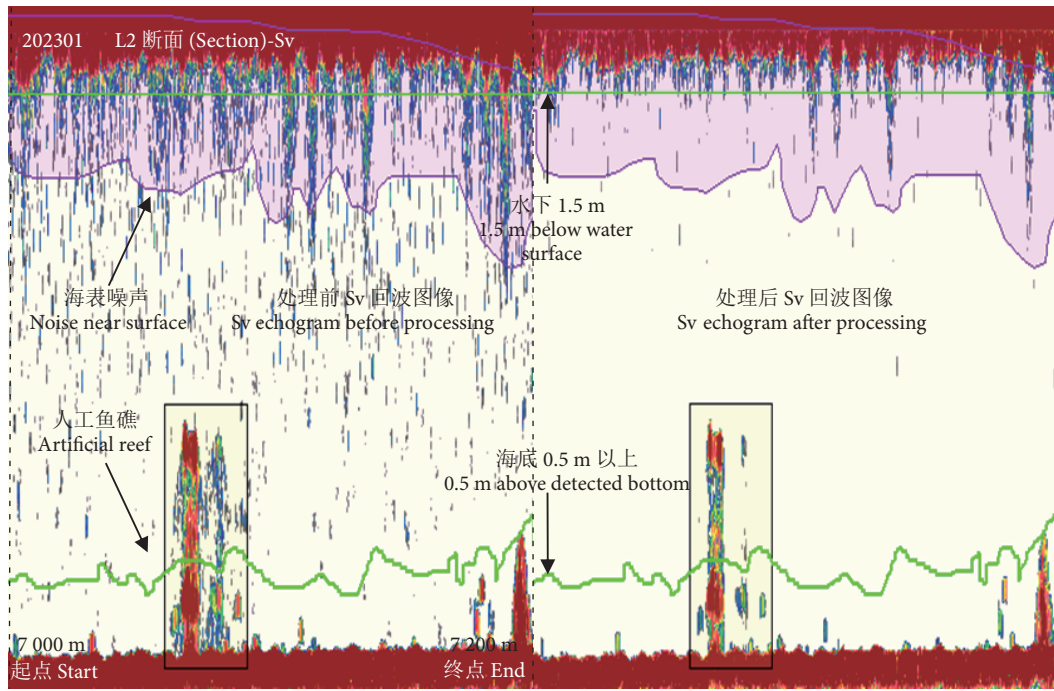


图2 调查海域 Sv 回波图像

Fig. 2 Sv echo images of surveyed sea area

而分析单体 TS 的大小组成和垂直分布规律。

以 200.0 m 为基本航程积分单元,以 5.0 m 水深为深度间隔进行回波积分,获得不同区域和水层的 NASC (Nautical area scattering coefficient) 值^[15]。按照多种类海洋渔业资源声学评估方法的原理和程序^[16],调查海域内 j 物种的尾数密度和生物量密度的计算公式分别为:

$$\rho_j = C_j \times \frac{\text{NASC}}{4\pi\bar{\sigma}} \times 1.852^{-2} \quad (3)$$

$$P_j = \rho_j \times \frac{W_j}{1000} \quad (4)$$

式中: ρ_j 为尾数密度 (Fish density, 尾·km⁻²); P_j 为生物量密度 (Fish biomass density, kg·km⁻²); C_j 为物种在渔获物中的尾数百分比 (%); NASC 为单格区域面积的声学散射积分值 (m²·n mile⁻²); W_j 为 j 种类的平均体质量 (g); $\bar{\sigma}$ 为单格区域内参与声学评估种类的平均后向散射截面 (m²), 计算公式为:

$$\bar{\sigma} = \sum_j^n \left(C_j \times 10^{\frac{\text{TS}_j}{10}} \right) \quad (5)$$

$$\text{TS}_j = 20 \lg L_j + b_{20,j} \quad (6)$$

式中: n 为参与声学评估的种类数; TS_j 为 j 种类的目标强度值 (dB)^[17]; L_j 为 j 种类的平均体长 (cm); $b_{20,j}$ 为 j 种类的目标强度参数,参与声学评估的种类目标强度参数结果见表 3^[9,18-19]。

2 结果

2.1 渔获物组成

2022 年 3 月调查海域共采集各类游泳生物 102 种,包括鱼类 60 种、虾类 11 种、蟹类 19 种、虾蛄类 4 种和头足类 8 种;2023 年 1 月调查海域共采集各类游泳生物 107 种,包括鱼类 75 种、虾类 9 种、蟹类 9 种、虾蛄类 3 种和头足类 11 种。总体上,无论是在人工鱼礁区还是对照区,2 次调查的渔获组成均主要以小型个体为主 (2022 和 2023 年的个体平均体质量分别为 8.64 和 29.8 g)。

基于扫海面积法,2022 年调查海域各站游泳生物 (包括鱼类、蟹类、虾类、头足类和虾蛄类) 的平均尾数密度和生物量密度分别为 94 070 尾·km⁻² 和 812.54 kg·km⁻²;2023 年调查分别为 26 831 尾·km⁻² 和 799.97 kg·km⁻²。2 次调查海域采集的种类中,除了鱼类及头足类外,还有比较多的蟹类、虾类和虾蛄类 (是人工鱼礁区不可忽视的重要增殖资源) (表 4)。

水深海底线 0.5 m 以下的海域由于有太多的声学杂波,该范围内的数据被设置为无效数据,因此贴底类生物均不参与声学评估。2022 年 3 月和 2023 年 1 月的调查中,分别有 54 和 72 种生物参与声学积分值的分配。对参与声学评估的渔获物种

表3 声学评估种类的 b_{20} 值
Table 3 b_{20} value for acoustically assessed species

种类 Species	b_{20} /dB	种类 Species	b_{20} /dB	种类 Species	b_{20} /dB
火枪乌贼 <i>Loligo beka</i>	-80.0	赤鼻棱鯮 <i>Thryssa kammalensis</i>	-72.5	长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	-80.0
杜氏枪乌贼 <i>Uroteuthis duvauceli</i>	-80.0	竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	-72.5	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	-76.0
剑尖枪乌贼 <i>Uroteuthis edulis</i>	-80.0	截尾白姑鱼 <i>Pennahia anea</i>	-68.0	日本花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	-72.5
少鳞鳢 <i>Sillago japonica</i>	-72.5	鹿斑仰口鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	-72.5	日本绯鲤 <i>Upeneus japonicus</i>	-72.5
短蛸 <i>Octopusocellatus</i>	-80.0	短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	-72.5	带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	-66.1
斑鲈 <i>Onosirus punctatus</i>	-72.5	侧条天竺鲷 <i>Apogon lateralis</i>	-68.0	月尾兔头鲈 <i>Lagocephalus lunaris</i>	-76.0
印度鲷 <i>Ilisha melastoma</i>	-72.5	二长棘鲷 <i>Paerargyrops edita</i>	-68.0	双棘三刺鲈 <i>Triacanthus biaculeatus</i>	-76.0
印度小公鱼 <i>Stolephorus indicus</i>	-72.5	黑鲷 <i>Sparus macrocephalus</i>	-71.5	丝背细鳞鲈 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	-72.5
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	-72.5	黄鳍鲷 <i>Acanthopagrus latus</i>	-68.0	中华单角鲈 <i>Monacanthus chinensis</i>	-72.5

表4 各种类资源密度
Table 4 Density of various resources

调查时间 Investigation time	种类 Class	尾数密度 Fish density/ (尾·km ⁻²)	生物量密度 Fish biomass density/ (kg·km ⁻²)
2022-03	鱼类	55 226	520.48
	头足类	1 388	34.89
	蟹类	8 681	154.99
	虾类	28 091	93.28
	虾姑类	685	8.90
2023-01	鱼类	16 430	573.88
	头足类	2 263	122.07
	蟹类	2 301	60.87
	虾类	5 413	32.48
	虾姑类	424	10.67

类进行统计分类,得到排名前 5 的物种的数量百分比、平均体长及体质量信息(表 5)。

2.2 渔业资源密度的时空分布特征

根据公式 (1)—(2) 对人工鱼礁区和对照区各个断面的平均尾数密度和生物量密度进行计算,并对人工鱼礁区和对照区的资源密度分布规律进行对比分析(图 3)。2022 年海洋牧场整体调查区域的生物平均尾数密度和生物量密度分别为 61 183 尾·km⁻² 和 675.31 kg·km⁻², 其中人工鱼礁区的平均尾数密度和生物量密度分别为 66 003 尾·km⁻² 和 726.66 kg·km⁻², 对照区的分别为 41 903 尾·km⁻² 和 469.90 kg·km⁻², 人工鱼礁区的平均尾数密度是对照区的 1.58 倍, 平均生物量密度是对照区的 1.55 倍。2023 年调查

海域参与声学评估物种的平均尾数密度和生物量密度分别为 16 161 尾·km⁻² 和 617.67 kg·km⁻², 其中人工鱼礁区的平均尾数密度和生物量密度分别为 17 194 尾·km⁻² 和 665.94 kg·km⁻², 对照区的分别为 11 110 尾·km⁻² 和 406.85 kg·km⁻², 人工鱼礁区的平均尾数密度是对照区的 1.55 倍, 平均生物量密度是对照区的 1.64 倍。

从 2 次调查的空间分布趋势可看出,人工鱼礁区尾数密度和生物量密度高于对照区;人工鱼礁区中间断面(L2、L3)较其他断面的尾数密度高,且人工鱼礁区的尾数密度和生物量密度分布表现出中心向四周递减的趋势。原因与 L2、L3 断面为海洋牧场区已建人工鱼礁有关,人工鱼礁的诱鱼效果显著,且密度分布均匀。而对照区断面的尾数密度和生物量密度均较小,且分布不均匀、变化较大、无规律可循。

2.3 不同断面的渔业资源分布

2 次声学走航中,人工鱼礁区设有 4 个断面,对照区设有 1 个断面,计算每个断面总体尾数密度和生物量密度,结果如图 4 所示。2 次调查中,人工鱼礁区 L2、L3 断面的尾数密度较高;2022 年 3 月人工鱼礁区 L3、L5 断面的生物量密度较高,2023 年 1 月人工鱼礁区 L2、L5 断面的生物量密度较高。与 2023 年 1 月相比,2022 年 3 月各断面的尾数密度较高,但各断面生物量密度的变化幅度略小。

以 1.5 m 水深表层线为起始水深对人工鱼礁

表5 各次调查渔获数量百分比前 5 位的种类组成及生物学信息
Table 5 Top 5 of percentages of species composition and biological information of catches in each survey

调查时间 Investigation time	种类 Species	数量百分比 Quantity percentage/%	平均体长 Mean body length/mm	平均体质量 Mean body mass/g
2022-03	二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	61.62	65	16.9
	鹿斑仰口鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	8.56	57	4.1
	短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	4.77	90	11.7
	侧带天竺鲷 <i>Apogon lateralis</i>	3.53	58	2.8
	竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	3.26	78	14.5
2023-01	鹿斑仰口鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	19.24	49	11.7
	二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	12.05	105	50.0
	月尾兔头鲷 <i>Lagocephalus lunaris</i>	10.00	112	56.1
	斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	5.61	138	52.5
	火枪乌贼 <i>Loligo beka</i>	5.30	61	12.6

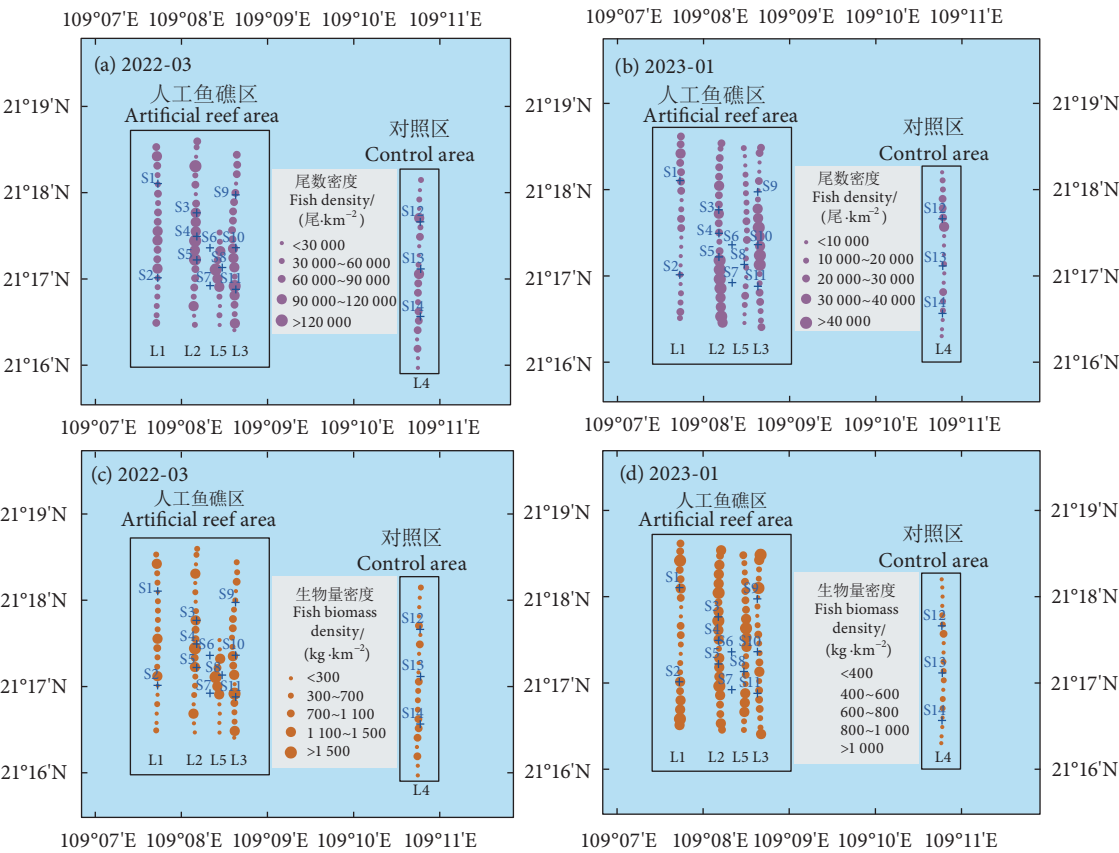


图3 调查区域渔业尾数密度及生物量密度的时空分布

Fig. 3 Spatio-temporal distribution of regional fishery quantity and biomass density

区和对照区的断面进行分层，包括 1.5~5.0 m 和 5.0 m 以深 2 个水层，根据每个断面在不同水层的积分值，计算出每个断面在不同水层的资源密度 (图 5)，并进行分析比较。2022 年 3 月调查中，无论礁区内外，每个断面的渔业资源均主要分布在 5.0 m 以深水层，1.5~5.0 m 水层分布较少；且人工鱼礁区 5.0 m 以深水层的资源密度高于对照区断

面，其中 L2、L3 断面尾数密度和生物量密度最高。2023 年 1 月调查中，人工鱼礁区和对照区断面的渔业资源也均主要分布在 5.0 m 以深水层，1.5~5.0 m 水层分布较少；人工鱼礁区的断面资源密度同样高于对照区断面，其中人工鱼礁区的 L1、L2 断面尾数密度和生物量密度最高。

总体而言，调查海域渔业资源主要分布于 5.0 m

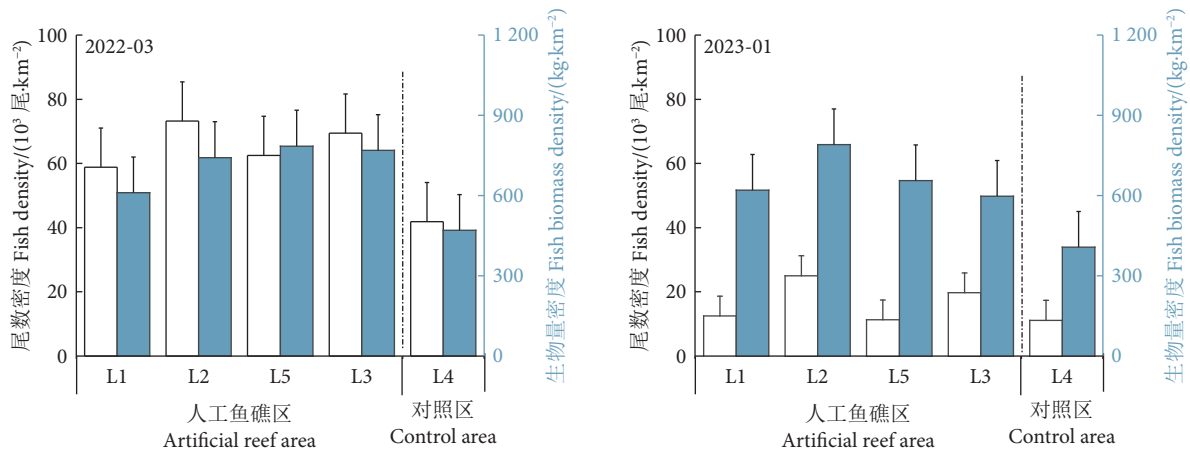


图4 不同断面声学评估种类资源密度

Fig. 4 Resource density of fish species assessed by acoustics at different cross-sections

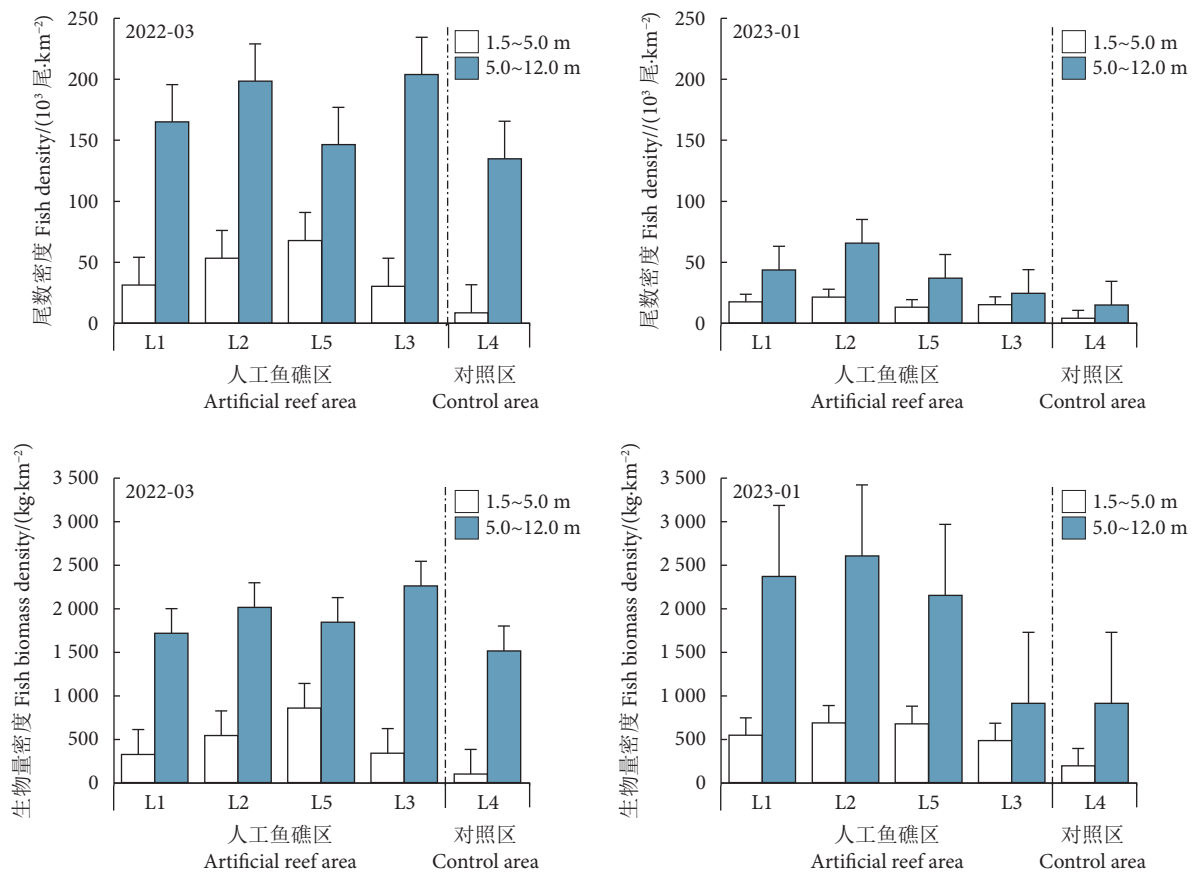


图5 不同水层声学评估种类资源密度

Fig. 5 Resource density of fish species acoustically assessed in different water layers

以深水层,且人工鱼礁区的渔业资源较对照区垂直分布范围更广,对空间的利用率更高,对游泳生物起到了一定的庇护作用。

2.4 单体目标强度组成与垂直分布

对人工鱼礁区和对照区的声学映像进行现场目标强度测量和轨迹追踪后,分别输出人工鱼礁区和对照区的回波单体 TS 个数和水深分布,从而绘制

出 TS 的频度分布(图 6)。2022 年 3 月调查中,人工鱼礁区平均 TS 为 -47.0 dB,变化范围为 $-60.0 \sim -30.1$ dB;对照区的平均 TS (-54.99 dB) 明显低于人工鱼礁区,变化范围为 $-59.9 \sim -39.3$ dB。2023 年 1 月调查中,人工鱼礁区平均 TS 为 -50.5 dB,变化范围为 $-59.9 \sim -33.9$ dB;对照区的平均 TS (-57.9 dB) 明显低于人工鱼礁区,变化范围为

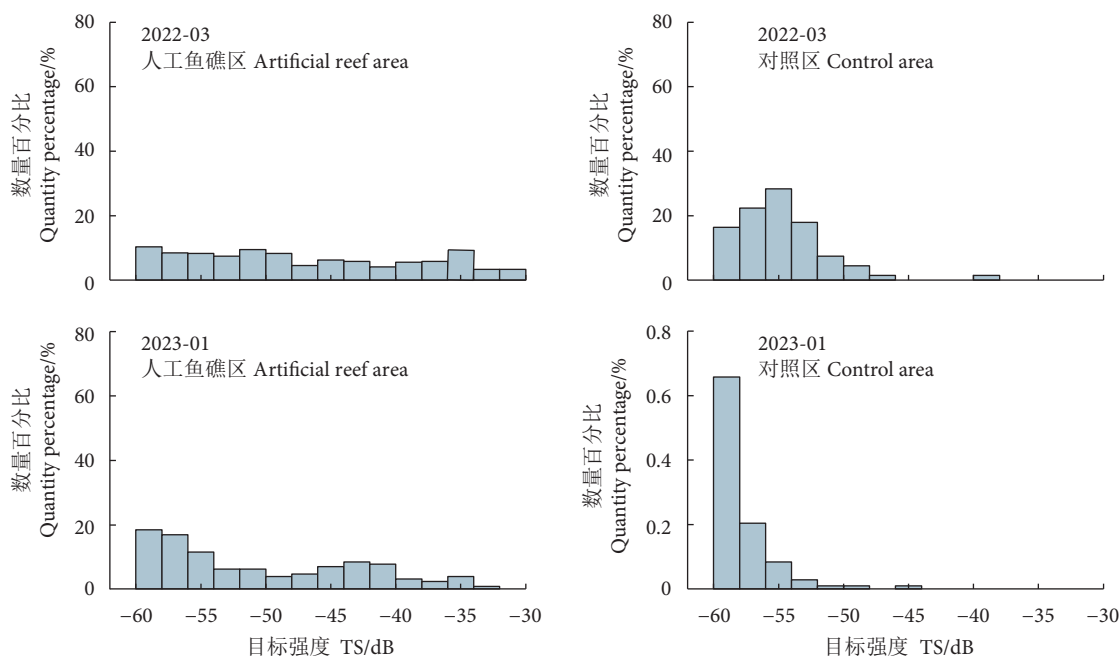


图6 调查海域目标强度频度分布图

Fig. 6 Frequency distribution of target strength in survey sea area

-60.0~-44.2 dB。综上可知,调查海域2次调查的平均TS呈下降趋势,2次调查的人工鱼礁区平均TS均大于对照区。

回波单体在垂直方向上的分布如图7所示。2022年3月的人工鱼礁区回波单体主要分布在5.0~12.0 m水层,区域平均水深为8.3 m,其分布相对集中;对照区回波单体在中下水层分布较为稀疏,分布规律不明显。2023年1月的人工鱼礁区回波单体主要分布在3.0~12.0 m水层,区域平均水深为8.8 m,其分布相对分散;对照区回波单体主要分布在4.0~12.0 m水层,区域平均水深为9.6 m,其分布相对分散。调查海域各航次回波单体主要分布于中下水层,有向底层聚集的趋势,人工鱼礁区回波单体集中程度比对照区高,且人工鱼礁区检测到的单体目标数量也比对照区多,表明人工鱼礁影响鱼类的资源分布变化。

3 讨论

3.1 尾数密度的年际变化

通过对2次调查的不同断面和不同水层密度结果进行对比,分析海洋牧场调查海域的资源年际变化。研究发现,2022年3月各断面整体的尾数密度明显高于2023年1月,且2022年3月检测出的单体目标生物数量多于2023年1月,这可能与二长棘鲷(*Parargyrops edita*)的繁殖时间有关。二长

棘鲷在北部湾的渔获组成中占较大比例,2022年3月调查中,其尾数密度在所有生物中占比为61.62%,2023年1月占比为12.05%。北部湾的二长棘鲷群体在春季主要为幼鱼^[20],每年2、3月至6月期间,在北部湾可发现密集的二长棘鲷幼鱼。2022年3月在进行拖网采样时,捕捞到大量的二长棘鲷幼鱼,而2023年1月拖网取样时并未捕捞到太多的二长棘鲷幼鱼。因此,产卵引起的幼鱼增加可能是导致2022年3月生物的尾数密度远高于2023年1月的原因。小型及低龄的鱼类群体易受捕捞行为的影响,将会导致该鱼类资源量减少。为改善此情况,需要加强对捕捞措施的管理,如加大拖网的最小网目等。

3.2 人工鱼礁的诱鱼效果

对2022年3月和2023年1月的渔业资源空间分布进行对比分析,结果显示,人工鱼礁区的尾数密度及生物量密度均明显大于对照区,表明人工鱼礁的诱鱼效果较为突出。有研究表明,人工鱼礁为鲷科鱼类提供了避难和栖息的场所,鲷科鱼类表现出明显的趋礁行为^[21-22]。在2次调查中均采用了水下摄影且观测到鲷科鱼类在人工鱼礁区活跃。在2次调查的渔业资源密度时空分布中,人工鱼礁区的资源密度分布更为均匀,而对照区资源密度分布无规律性。此外通过人工鱼礁区和对照区的单体目标强度对比发现,人工鱼礁区的生物个体大小组成

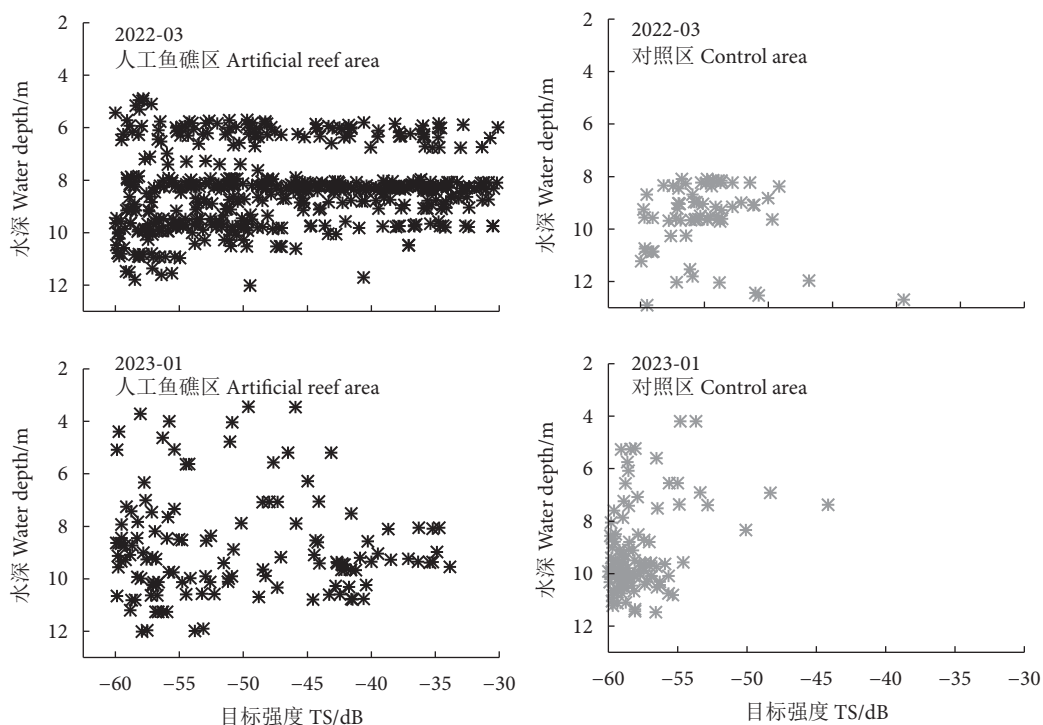


图7 调查海域单体目标强度的垂直水深分布

Fig. 7 Vertical water depth distribution of single target strength in survey sea area

比对照区更全面,对照区的生物单体目标主要为体型小的种类,且人工鱼礁区的单体目标分布相对集中,对照区的单体目标分布较为分散。综上可知,在北海银滩海洋牧场海域,人工鱼礁的建设在一定程度上能起到诱鱼的生态效果,但其诱鱼效果需要结合其他环境因素和生物因素进行多方面的分析。

3.3 声学评估方法和扫海面积法的对比分析

声学评估是一种新型的渔业评估手段,具有效率高、非接触不伤害鱼类、探测范围广等优点^[3,23],但受鱼类行为、网具拖曳速度、昼夜差异等因素的影响,渔业声学评估结果和底拖网调查的分析结果存在一定的差异^[24]。本研究分别利用声学评估法和扫海面积法对目标海域不同年份的渔业资源密度进行了评估与分析,2022年扫海面积法计算各站位的平均尾数密度是声学评估的1.54倍,平均生物量密度是声学评估的1.2倍;2023年扫海面积法计算各站位的平均尾数密度是声学评估的1.66倍,平均生物量密度是声学评估的1.3倍。2次调查渔业资源声学评估的结果均明显低于扫海面积法计算的结果,原因是声学评估存在2点不足:1)声学映像中表层和近海底层的水体需要去除一定的深度^[14],这两部分水体的鱼类资源自然也就未计入分析结果中,尤其是人工鱼礁区可能有

比较多的虾蟹类和其他底栖无脊椎动物。调查海域2次调查站位的平均水深分别为11.73和12.39 m,贴底类生物占渔获物的比重较高。2)目前声学评估中存在的普遍大难题,即声学影像难以准确判读,容易把鱼群当成噪声进行剔除,必须以准同步拖网、摄影等采样手段进行辅助,但是目前这些辅助手段存在着一些难以克服的局限性。另外有研究发现,声学评估结果偏低可能是受鱼类集群所产生的遮蔽效应所影响^[7],因为声学探测的信号强度会随着鱼类密度的增加而显著降低^[25]。通过渔获物统计的结果和声学映像判读,2次调查的二长棘鲷幼鱼和鹿斑仰口鲷(*Leiognathus ruconius*)主要以集群形式存在。

与声学方法由于声学盲区需要去除近海底层的水体相比,扫海面积法中,拖网可以扫过海底。但扫海面积法在人工鱼礁区进行调查时也存在2点不足:1)拖网的普遍问题,即拖网评估出的量仅是网口水平扩张的截面面积扫过的水体中的资源量^[26];2)拖网即使扫过海底表面,也因损坏网具而无法通过人工鱼礁礁体所在的区域,而这些区域也正是渔业资源较为集中的区域。因此仅使用拖网进行人工鱼礁区资源调查,无法全面反映人工鱼礁区资源量的真实状况。且网具的选择性^[27-29]及鱼类的逃

逸行为^[30-32]均会影响评估结果的准确性。目前来看,拖网调查的扫海面积法和渔业水声学方法均无法全面准确地评估人工鱼礁区的渔业资源。建议网具调查可以作为声学调查的辅助,两种方法相结合比单一调查方法更为可取。另外,声学方法在映像识别、噪声消除等方面还有待进一步研究。在今后的调查工作中,可以使用2个不同频率的声呐进行声学探测,方便在进行声学影像处理的过程中,使用频差分析法进行噪声消除以提高资源评估结果的准确度。

参考文献:

- [1] MYTILINEOU C, HERRMANN B, MANTOPOULOU-PALOUKA D, et al. Escape, discard, and landing probability in multispecies Mediterranean bottom-trawl fishery[J]. ICES J Mar Sci, 2023, 80(3): 542-555.
- [2] PELAGE L, BERTRAND A, FERREIRA B P, et al. Balanced harvest as a potential management strategy for tropical small-scale fisheries[J]. ICES J Mar Sci, 2021, 78(7): 2547-2561.
- [3] KOSLOW J A. The role of acoustics in ecosystem-based fishery management[J]. ICES J Mar Sci, 2009, 66(6): 966-973.
- [4] 李永振, 陈国宝, 赵宪勇. 南海区多鱼种渔业资源声学评估[C]//我国专属经济区和大陆架勘测研究论文集. 北京: 海洋出版社, 2002: 391-397.
- [5] 李永振, 陈国宝, 赵宪勇, 等. 南海北部海域小型非经济鱼类资源声学评估[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 35(2): 206-212.
- [6] 陈国宝, 李永振, 赵宪勇, 等. 南海北部海域重要经济鱼类资源声学评估[J]. 中国水产科学, 2005, 12(4): 445-451.
- [7] 李娜娜, 陈国宝, 于杰, 等. 大亚湾杨梅坑人工鱼礁水域生物资源量声学评估[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1640-1649.
- [8] 林金鍊. 南海北部大陆架外海区底拖网鱼类资源现存量及可捕量的探讨[J]. 海洋通报, 1983, 2(5): 55-65.
- [9] 曾雷, 唐振朝, 贾晓平, 等. 人工鱼礁对防城港海域小型岩礁性鱼类诱集效果研究[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 783-795.
- [10] SIMRAD. Simrad ER60 scientific echo sounder software reference manual[M]. Horten: Simrad Maritime As Kongsberg, 2008: 19-31.
- [11] AGLÉN A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied[J]. FAO Fish Rep, 1983, 300: 293-298.
- [12] 张俊, 陈丕茂, 陈国宝, 等. 基于 Echoview 声学数据后处理系统的背景噪声扣除方法[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 9-17.
- [13] 曾雷, 陈国宝, 王腾, 等. 大亚湾核电厂近海域中国毛虾声学探测分析[J]. 中国水产科学, 2019, 26(6): 1029-1039.
- [14] 王腾, 黄洪辉, 张鹏, 等. 珠海桂山风电场水域渔业资源声学评估与空间分布[J]. 中国水产科学, 2020, 27(12): 1496-1504.
- [15] 郭禹, 李纯厚, 陈国宝. 南澳白沙湾海藻养殖区内外渔业资源声学评估[J]. 水产学报, 2018, 42(2): 226-235.
- [16] 赵宪勇, 陈毓楨, 李显森, 等. 多种类海洋渔业资源声学评估技术与方法[C]//我国专属经济区和大陆架勘测研究专项学术交流会论文集. 北京: 海洋出版社, 2002: 341-353.
- [17] RUDSTAM L G, PARKER-STETTER S L, SULLIVAN P J, et al. Towards a standard operating procedure for fishery acoustic surveys in the Laurentian Great Lakes, North America[J]. ICES J Mar Sci, 2009, 66(6): 1391-1397.
- [18] 张俊, 陈丕茂, 房立晨, 等. 南海柘林湾—南澳岛海洋牧场渔业资源本底声学评估[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1187-1198.
- [19] 李斌, 陈国宝, 于杰, 等. 海南陵水湾口海域不同季节鱼类资源声学探查[J]. 水产学报, 2018, 42(4): 544-556.
- [20] 蔡研聪, 陈作志, 徐姮楠, 等. 北部湾二长棘型齿鲷的时空分布特征[J]. 南方水产科学, 2017, 13(4): 1-10.
- [21] SCHWARTZKOPF B D, COWAN J H. Seasonal and sex differences in energy reserves of red snapper *Lutjanus campechanus* on natural and artificial reefs in the northwestern Gulf of Mexico[J]. Fish Sci, 2017, 83(1): 13-22.
- [22] TAYLOR M D, BECKER A, LOWRY M B. Investigating the functional role of an artificial reef within an estuarine seascape: a case study of yellowfin bream (*Acanthopagrus australis*)[J]. Estuar Coast, 2018, 41(6): 1782-1792.
- [23] HJELLVIK V, HANDEGARD N O, ONA E. Correcting for vessel avoidance in acoustic-abundance estimates for herring[J]. ICES J Mar Sci, 2008, 65(6): 1036-1045.
- [24] NEILSON J D, CLARK D W, MELVIN G D, et al. The diel-vertical distribution and characteristics of pre-spawning aggregations of pollock (*Pollachius virens*) as inferred from hydroacoustic observations: the implications for survey design[J]. ICES J Mar Sci, 2003, 60(4): 860-871.
- [25] TORESEN R. Absorption of acoustic energy in dense herring schools studied by the attenuation in the bottom echo signal[J]. Fish Res, 1991, 10(3/4): 317-327.
- [26] ENGÅS A, GODØ O R. The effect of different sweep lengths on the length composition of bottom-sampling trawl catches[J]. ICES J Mar Sci, 1989, 45(3): 263-268.
- [27] BETHKE E, ARRHENIUS F, CARDINALE M, et al. Comparison of the selectivity of three pelagic sampling trawls in a hydroacoustic survey[J]. Fish Res, 1999, 44(1): 15-23.
- [28] BUTCHER A, MAYER D, SMALLWOOD D, et al. A comparison of the relative efficiency of ring, fyke, fence nets and beam trawling for estimating key estuarine fishery populations[J]. Fish Res, 2005, 73(3): 311-321.
- [29] SMITH J B, JONAS J L, HAYES D B, et al. Comparison of catch in multifilament and monofilament gill nets in a long-term survey on Lake Michigan[J]. J Great Lakes Res, 2022, 48(2): 565-571.
- [30] SUURONEN P, LEHTONEN E, WALLACE J. Avoidance and escape behaviour by herring encountering midwater trawls[J]. Fish Res, 1997, 29(1): 13-24.
- [31] SKÚVADAL F B, THOMEN B, JACOBSEN J A. Escape of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) and herring (*Clupea harengus*) from a pelagic survey trawl[J]. Fish Res, 2011, 111(1/2): 65-73.
- [32] JŮZA T, RAKOWITZ G, DRAŠTÍK V, et al. Avoidance reactions of fish in the trawl mouth opening in a shallow and turbid lake at night[J]. Fish Res, 2013, 147: 154-160.